

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA**  
**ANTONIO NARRO**  
**UNIDAD LAGUNA**



**“Potencial de la chicura (*Ambrosia ambrosioides*) como especie  
fitorremediadora para absorber metales pesados del suelo”**

**POR**

**VALERIA BELEM RAMÍREZ GOTTFRIED**

**TESIS**

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL**

**PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

**INGENIERO AGRÓNOMO**

**TORREÓN, COAHUILA**

**DICIEMBRE 2019**

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO

“Potencial de la chicura (*Ambrosia Ambrosioides*) como especie fitorremediadora para absorber metales pesados del suelo”

Por:

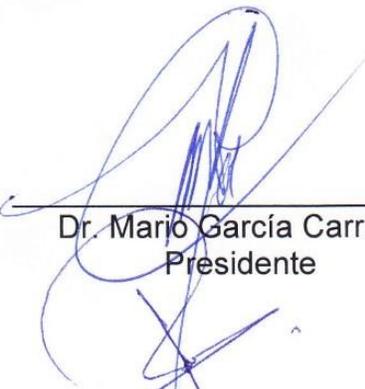
**VALERIA BELEM RAMÍREZ GOTTFRIED**

TESIS

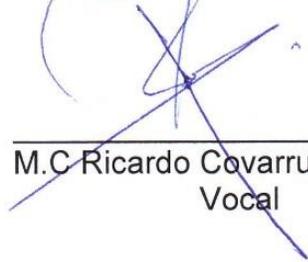
Que se somete a la consideración del H. Jurado Examinador como requisito parcial para obtener el título de:

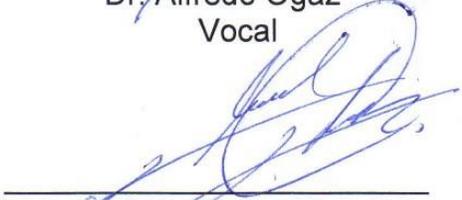
**INGENIERO AGRÓNOMO**

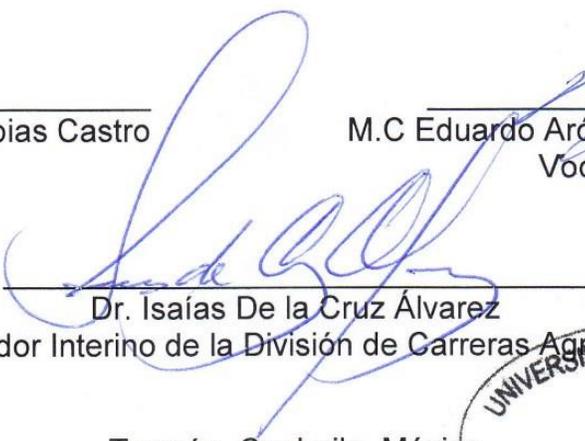
Aprobada por:

  
Dr. Mario García Carrillo  
Presidente

  
Dr. Alfredo Ogaz  
Vocal

  
M.C Ricardo Covarrubias Castro  
Vocal

  
M.C Eduardo Arón Flores Hernández  
Vocal Suplente

  
Dr. Isaías De la Cruz Álvarez  
Coordinador Interino de la División de Carreras Agronómicas

Torreón, Coahuila, México  
Diciembre 2019



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS  
DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO

“Potencial de la chicura (*Ambrosia Ambrosioides*) como especie fitorremediadora para absorber metales pesados del suelo”

Por:

**VALERIA BELEM RAMÍREZ GOTTFRIED**

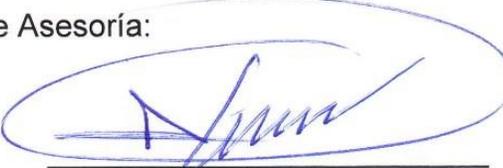
TESIS

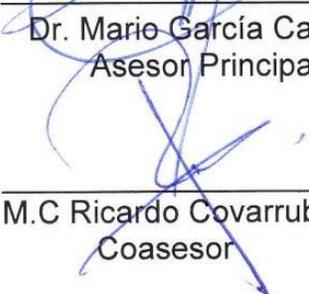
Presentada como requisito parcial para obtener el título del:

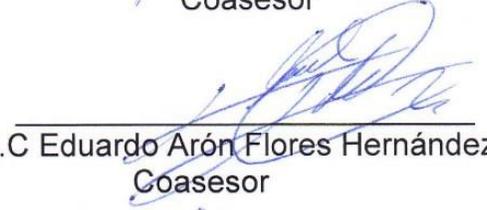
**INGENIERO AGRÓNOMO**

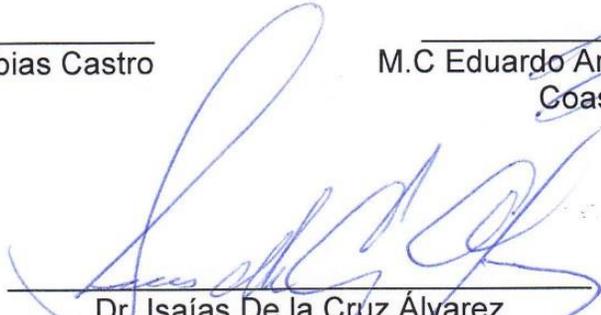
Aprobada por el Comité de Asesoría:

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Mario García Carrillo  
Asesor Principal

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Alfredo Ogaz  
Coasesor

  
\_\_\_\_\_  
M.C Ricardo Covarrubias Castro  
Coasesor

  
\_\_\_\_\_  
M.C Eduardo Arón Flores Hernández  
Coasesor

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Isaías De la Cruz Álvarez  
Coordinador Interino de la División de Carreras Agronómicas

Torreón, Coahuila, México  
Diciembre 2019



## **AGRADECIMIENTOS**

Principalmente a mi familia por darme todo su apoyo y cariño a lo largo de toda mi vida.

Agradezco a todos mis profesores que me dieron sus conocimientos durante toda mi estadía en la UAAAN.

A mi asesor de tesis el Dr. Mario García Carrillo por guiarme a lo largo de la realización de este trabajo y por transmitir todos sus conocimientos en mí.

Al laboratorista Silverio por ayudarme a obtener los datos de mi trabajo y por siempre ser tan amable.

A mis amigos Obed, Marcelo, Gerardo y Armando que me apoyaron en todo momento y que gracias a sus locuras hicieron más fácil todo este proceso. Gracias por su amistad.

A mi hija y a Miguel por siempre recibirme en casa con una sonrisa.

Y a todas las personas que contribuyeron en la realización de este trabajo.

## **DEDICATORIA**

Agradezco primeramente a Dios por haberme guiado a lo largo de mi existencia y por haber sido el apoyo y fortaleza en aquellos momentos de dificultad y de debilidad.

Me van a faltar páginas para agradecer a las dos personas más importantes en mi vida que sin duda merecen completamente mi admiración y respeto, a mi madre la sra. Mayela Gottfried y a mi padre el sr. Ricardo Ramírez que con su arduo esfuerzo me ayudaron a culminar mi carrera universitaria y me dieron el apoyo suficiente para no decaer aun cuando todo parecía complicado e imposible. Gracias papás por ser los principales promotores de mis sueños y de mis ganas por superarme como persona, por confiar y creer en mis expectativas y sobre todos por los consejos que me han brindado desde siempre. ¡Gracias infinitas! Los amo con todo mi corazón.

También me gustaría dedicarle este trabajo a mi hermana mayor Candy, que con sus palabras me hacía sentir orgullosa de lo que soy y de todo lo que he llegado a ser hasta el momento, me motivó a culminar mis estudios aun cuando supo que estaba embarazada. Te agradezco no solo por estar presente aportando buenas cosas a mi vida, sino por los grandes lotes de felicidad y de diversas emociones que siempre haz causado en mí y en nuestra familia. Este triunfo te lo debo a ti. Gracias por siempre estar ahí para protegerme.

A mi cuñado el sr. Brown quien me abrió las puertas de su hogar en momentos difíciles. Gracias por el apoyo y la confianza que me has dado a lo largo de este tiempo. Gracias por hacer de los tiempos difíciles momentos más llevaderos.

Gracias a mi hermano Ricardo por la paciencia y el apoyo brindado a lo largo de la realización de este trabajo.

A mi hermana menor Vanesa que a su corta edad me ayudaba a cuidar a mi hija mientras yo elaborada este documento.

También quiero dedicarle este trabajo a mi hija Alexandra que sin duda alguna ha sido mi motor para seguir adelante, por motivarme y por brindarme su amor. Gracias

a ti se puede demostrar que un hijo no es impedimento para llegar lejos, has sido mi fortaleza desde que supe que venías en camino, te amo.

Y por último y no menos importante a mi pareja Miguel que ha estado conmigo desde el inicio de esta aventura, quien me apoyó y alentó para continuar aun cuando parecía que me iba a rendir. Gracias por brindarme tu cariño, tu paciencia pero sobre todo gracias por tu compañía, por solventar mis gastos académicos y por esforzarte trabajando para que nada nos haga falta. Este logro también es para ti, por apoyar mis sueños y ayudarme a concluirlos, por siempre darte el tiempo para ayudarme y que a través de tus consejos, de tu amor y paciencia me ayudaste a concluir esta meta. Sé que juntos llegaremos lejos. Te Amo ♥

## RESUMEN

De los tres elementos que constituyen el medio físico, nos centraremos en el estudio del suelo, que tiene unos condicionantes específicos, pues mientras la composición del aire o del agua se puede medir y responde a valores estándares definidos globalmente, es mucho más complejo definir la calidad del suelo al no tener unos constituyentes fijos que marquen una composición ideal, es más, los parámetros a medir están en función del uso o del lugar que ocupa en el ecosistema, lo que hace más necesario su conocimiento.

Este trabajo pretende dar una visión general de las soluciones que se están investigando para la recuperación de suelos contaminados, concretamente la utilización de técnicas biorremediadoras, es decir, tratamiento del suelo mediante procesos biológicos. Para ello dividiremos el tema en varios apartados. En primer lugar, analizaremos el concepto de suelo y su importancia dentro del medio, en segundo lugar trataremos las causas que originan la contaminación, tanto desde el punto de vista del elemento contaminador, como desde el punto de vista del proceso que tiene lugar.

**PALABRAS CLAVES:** Ambrosia Ambrosioides, Fitorremediadora, Hiperacumulación,

## **INDICE GENERAL**

|                        |      |
|------------------------|------|
| Agradecimientos.....   | i    |
| Dedicatoria.....       | ii   |
| Resumen.....           | iv   |
| Índice general.....    | v    |
| Índice de cuadros..... | vii  |
| Índice de figuras..... | viii |

## **I.- INTRODUCCIÓN**

|                |   |
|----------------|---|
| Objetivos..... | 3 |
| Hipótesis..... | 3 |

## **II.- REVISIÓN DE LITERATURA**

|   |    |
|---|----|
| 2.1.-Características de la chicura (ambrosia ambrosioides)..... | 4  |
| 2.1.1.- Descripción.....  | 4  |
| 2.1.2.- Hábitat.....  | 4  |
| 2.2.- Clasificación taxonómica.....                             | 4  |
| 2.3.- Antecedentes de la investigación.....                     | 5  |
| 2.4.- Metales pesados.....                                      | 7  |
| 2.4.1.- Contaminación del suelo por metales pesados.....        | 8  |
| 2.4.2.- Cadmio.....   | 10 |
| 2.4.3.- Plomo.....  | 11 |
| 2.4.4.- Cobre.....  | 12 |
| 2.4.5.- Plantas hiperacumuladoras de metales pesados.....       | 13 |
| 2.4.6.- Fitorremediación del suelo.....                         | 14 |
| 2.4.7.- Fitoextracción.....                                     | 15 |

## **III.- MATERIALES Y MÉTODOS**

|  |    |
|--|----|
| 3.1.- Ubicación geográfica.....        | 17 |
| 3.2.- Muestreo de plantas.....         | 17 |
| 3.2.1.- Adaptación de las plantas..... | 18 |

|  |    |
|--|----|
| 3.3.- Tratamientos.....  | 19 |
| 3.3.1.- Desarrollo del experimento.....  | 19 |
| 3.3.2.- Cosecha de las plantas.....  | 21 |
| 3.3.3.- Clasificación de las plantas.....  | 21 |
| 3.3.4.- Secado.....  | 21 |
| 3.3.5.- Molienda de las plantas.....   | 21 |
| 3.3.6.- Determinación de los metales pesados.....                                      | 24 |
| 3.3.7.- Análisis estadístico.....  | 25 |
| <b>IV.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>   |    |
| 4.1.- Concentración de metales pesados.....  | 26 |
| 4.1.1.- Cadmio.....  | 26 |
| 4.1.2.- Cobre.....   | 26 |
| 4.1.3.- Plomo.....   | 27 |
| 4.2.- Acumulación de metales pesados en las estructuras morfológicas de la planta..... | 27 |
| 4.2.1.- Raíz.....  | 27 |
| 4.2.2.- Tallo.....   | 30 |
| 4.2.3.- Hoja.....  | 32 |
| <b>V.- CONCLUSIONES</b>  |    |
| <b>VI.- LITERATURA CITADA</b>  |    |

## **INDICE DE CUADROS**

|  |    |
|--|----|
| Cuadro 1.- Concentración de cadmio en cada estructura morfológica..... | 26 |
| Cuadro 2.- Concentración de cobre en cada estructura morfológica.....  | 27 |
| Cuadro 3.- Concentración de plomo en cada estructura morfológica.....  | 27 |
| Cuadro 4.-Acumulación de metales en la raíz (kg de peso seco).....     | 28 |
| Cuadro 5.- Acumulación de metales en el tallo de la planta.....        | 30 |
| Cuadro 6.- Acumulación de metales en la hoja de la planta.....         | 32 |

## INDICE DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 1.- Ubicación geográfica del invernadero.....   | 17 |
| Figura 2.- Plantas recolectadas en macetas provisionales.....  | 18 |
| Figura 3.- Invernadero utilizado para la adaptación de las plantas.....                                | 18 |
| Figura 4.- Garrafón de 20 lts con concentración de cadmio a 90 ppm.....                                | 19 |
| Figura 5.- Plantas de la chicura trasplantadas a las macetas definidas.....                            | 20 |
| Figura 6.- Plantas de la chicura seleccionadas.....  | 20 |
| Figura 7.- Muestras molidas.....   | 22 |
| Figura 8.- Balanza analítica.....  | 22 |
| Figura 9.- Mufla marca furance 1500.....   | 23 |
| Figura 10.- Muestras antes de ser calcinadas en la mufla.....  | 23 |
| Figura 11.- Muestras listas para la aplicación de CsCl.....  | 23 |
| Figura 12.- Espectrofotómetro de absorción atómica.....  | 24 |
| Figura 13.- Lámpara de cadmio.....   | 25 |
| Figura 14.- Acumulación de metales pesados en la raíz de chicura ( <i>ambrosia ambrosioides</i> )..... | 28 |
| Figura 15.- Factor metal pesado en la raíz.....  | 29 |
| Figura 16.- Factor concentración en la raíz.....   | 29 |
| Figura 17.- Acumulación de metales pesados en el tallo.....  | 31 |
| Figura 18.- Factor metal pesado en el tallo.....   | 31 |
| Figura 19.- Factor concentración en el tallo.....  | 32 |
| Figura 20.- Acumulación de metales pesados en la hoja.....   | 33 |
| Figura 21.- Factor metal pesado en la hoja.....  | 34 |
| Figura 22.- Factor concentración de la hoja.....   | 34 |

## I.INTRODUCCIÓN

El suelo es un recurso finito, lo que significa que su pérdida y degradación no es recuperable en el transcurso de una vida humana. Los suelos afectan a los alimentos, al agua, al aire y a la salud de todos los organismos del planeta. Sin suelos sanos no se podrían producir los alimentos. De hecho, se calcula que el 95% de los alimentos se producen directa o indirectamente en los suelos.

La contaminación ambiental puede estudiarse para su “remediación” atendiendo tres elementos de los ecosistemas: agua, aire y suelo. Los contaminantes pueden generarse o depositarse en cualquiera de estos tres elementos y moverse de un elemento a otro hasta llegar a la biota, que es el elemento en el que ocasionan los daños y por el que ingresan las redes tróficas (Zuñiga, 1999).

El termino metal pesado refiera a cualquier elemento químico metálico que tenga una relatividad de alta densidad y sea tóxico o venenoso en concentraciones incluso muy bajas. Los ejemplos de metales pesados o algunos metaloides, incluyen el Mercurio (Hg), Cadmio (Cd), Arsénico (As), Cromo (Cr), Talio (Tl) y Plomo (Pb), entre otros.

Fitorremediación significa remediar un daño por medio de plantas o vegetales. De manera más completa, la fitorremediación puede definirse como una tecnología sustentable que se basa en el uso de plantas para reducir in situ la concentración o peligrosidad de contaminantes orgánicos e inorgánicos de suelos, sedimentos, agua, y aire, a partir de procesos bioquímicos realizados por las plantas y microorganismos asociados a su sistema de raíz que conducen a la reducción, mineralización, degradación, volatilización y estabilización de los diversos tipos de contaminantes.

A nivel mundial, en Australia se estima que existen unos 80 000 emplazamientos que sufren contaminación del suelo. China ha clasificado el 16 por ciento de todos sus suelos y el 19 por ciento de sus suelos agrícolas, como contaminados. Hay aproximadamente 3 millones de lugares contaminados en la Zona Económica Europea y en los Balcanes occidentales.

El problema en la ciudad de Torreón Coahuila México es provocado por el plomo, el cadmio y el arsénico, tres elementos altamente dañinos para los humanos. Sin embargo, los estudios, las denuncias y ahora las acciones que se han realizado en torno a este problema tienen como actor principal al plomo. Esto no significa que el plomo sea el más tóxico de los tres elementos de hecho ocurre lo contrario, sino que de los tres es el que más ha sido utilizado por la humanidad y por ende es el que causa más problemas y más preocupación en todo el mundo. Valdría la pena estar conscientes de este hecho y no tener la impresión que es el plomo el único contaminante que nos preocupa. El envenenamiento por metales pesados se debe al funcionamiento de la cuarta fundidora más importante del mundo, propiedad de la compañía Peñoles, situada en el centro de la ciudad de Torreón. El envenenamiento por plomo no es un problema exclusivo de Torreón. En otros lugares puede presentarse la contaminación por plomo pero las fuentes emisoras pueden ser distintas, como en el caso reciente que afecta a los vecinos de la empresa Pigmentos y Óxidos S.A. en el área metropolitana de Monterrey, Nuevo León.

## **1.1 Objetivos**

Medir el potencial de la chicura (*Ambrosia ambrosioides*) por medio de las concentraciones de metal pesado absorbido para comprobar que dicha especie sea fitorremediadora.

## **1.2 Hipótesis**

Las plantas de la chicura (*Ambrosia ambrosioides*) utilizadas para esta investigación lograran demostrar que dicha especie es apta para fitorremediar suelos contaminados.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 Características de la chicura (*Ambrosia ambrosioides*)

La Chicura o *Ambrosia ambrosioides*, es una especie de planta herbácea perteneciente a la familia de las asteráceas. Es originaria de Norteamérica donde se encuentra en los desiertos del norte de México y el sur de Arizona (Felger, *etal.*, 1985).

#### 2.1.1 Descripción

Crece como un arbusto alcanzando un tamaño de 1 a 2 metros de altura, con hojas gruesas dentadas de 4 a 18 cm de largo y 1.5 a 4 cm de ancho. Es monoica, con ambas inflorescencias en racimos terminales y axilares. La floración ocurre principalmente en febrero y abril. Los frutos son de 10-15 mm de fresas cubiertas de espinas ganchudas. Algo similar en apariencia a *Ambrosia ilicifolia*, de la que se diferencia en que *A. ilicifolia* tiene hojas sésiles con un patrón reticular de venas, y los dientes marginales desarrollados en espinas cortas (Turner, 1995).

#### 2.1.2 Hábitat

Esta ambrosia se puede encontrar en arenas lavadas y otras áreas disturbadas tales como bordes de caminos e incluso en las grietas de las rocas (Hickman, 1993).

### 2.2 Clasificación taxonómica

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Orden: Asterales

Familia: Asteraceae

Subfamilia: Asteroideae

Tribu: Heliantheae

Subtribu: Ambrosiinae

Género: Ambrosia

Especie: Ambrosia Ambrosioides

(Conabio, 2009)

### **2.3 Antecedentes de la investigación**

A través de la historia y especialmente desde la revolución Industrial, los hombres han producido contaminantes muy peligrosos, los cuales han sido gradualmente depositados en el ambiente. (Granadillo, 1993), expresó que los altos niveles de metales tóxicos no biodegradables, encontrados en sectores urbanos, son el resultado de una actividad antropogénica indiscriminada. En la antigüedad, el plomo era común y probablemente fue usado primero con propósitos cosméticos y para hacer adornos (Aitchison, 1960).

En los últimos años surgieron nuevas tecnologías basadas en el empleo de organismos vivos para descontaminar suelos contaminados y recuperar los ecosistemas y los suelos afectados. Estas técnicas se basan principalmente en plantas y reciben el nombre de fitorremediación el cual se define como el uso de plantas verdes para eliminar los contaminantes del entorno o para reducir su peligrosidad.

La fitorremediación se define como el uso de plantas para eliminar, destruir o transformar contaminantes del suelo, agua y aire (Zhi-xin *et al.*, 2007). En este proceso, las plantas son seleccionadas principalmente por su potencial fisiológico, como en el caso de enzimas presentes para tolerar y asimilar sustancias tóxicas, por sus tasas de crecimiento, por la profundidad de sus raíces y su habilidad para bioacumular y/o degradar contaminantes (Peña *et al.*, 2005; Ospina *et al.*, 2006; Wei *et al.*, 2009). La vegetación con este tipo de características se conoce como plantas hiper-acumuladoras (Peña, 2005), por su capacidad de acumular uno o más elementos inorgánicos, a niveles cien veces más altos que el ambiente circundante

y que otras especies creciendo bajo las mismas condiciones ambientales (Pilon-Smits, 2005).

La aparición de la fitorremediación enseguida tuvo su eco entre los investigadores europeos y, fruto de ello, fueron varias iniciativas, proyectos, entre los que destacan la creación de redes científicas específicas, como: *PHYTONET* (Marmioli, 1999), y las acciones *COST 837* (1998-2003) y *859* (en vigor hasta 2009) (Vanek, 2003). Esto posibilitó numerosos contactos científicos tanto internacionales como nacionales. En este sentido se presenta aquí una muestra de las aportaciones a esta línea por algunos investigadores participantes en Acción *COST 859*. Así, a continuación, se revisan tanto aspectos básicos de la fitorremediación, como la aplicación de diversas tecnologías a emplazamientos concretos afectados por metales pesados, en España. En particular los siguientes:

La hiperacumulación de metales que conlleva al desarrollo de mecanismos de tolerancia en las plantas que cuentan con esta capacidad, permite, su estudio como plantas modelo; y la discusión de distintas hipótesis sobre las ventajas que obtiene de esta peculiaridad.

Se ha realizado un estudio de las posibilidades de la flora natural y agrícola en la rehabilitación de suelos contaminados por mercurio en la antigua zona minera de Almadén.

El vertido al río Guadiamar de lodo piritico de la mina de Aznalcollar en 1998 dio la posibilidad de desarrollar y poner en práctica estas tecnologías de fitorremediación.

(Contreras *et al.*, 2016) estudió la capacidad de *Ambrosia ambrosioides* para absorber y acumular plomo (Pb) en sus tejidos e identificar cual parte de la planta acumulaba el metal en mayor cantidad. Sus resultados demostraron que dicha planta es capaz de absorber en su raíz un promedio de 4,638 mg de plomo por cada kilogramo de planta (peso seco), cuando es expuesta a grandes concentraciones de plomo (1.5 g).

La planta no mostro fitotoxicidad. Esto indica que *Ambrosia ambrosioides* es una planta hiperacumuladora de plomo y puede ser utilizada como fitoestabilizadora de dicho metal.

## 2.4 Metales pesados

Los metales pesados contribuyen fuertemente a la contaminación ambiental, la cantidad de metales disponibles en el suelo está en función del pH, el contenido de arcillas, contenido de materia orgánica, la capacidad de intercambio catiónico y otras propiedades que las hacen únicas en términos de manejo de la contaminación (Sauve *et al.*, 2000). Además son definidos como elementos con propiedades metálicas (conductibilidad, ductilidad, etc.), su número atómico mayor de 20, y cuya densidad es mayor a los 5 g por cm<sup>3</sup>. Se consideran metales pesados el plomo, cadmio, cromo, mercurio, zinc, cobre, plata y arsénico, constituyen un grupo de gran importancia, ya que algunos son esenciales para las células, pero en altas concentraciones pueden resultar tóxicos para los seres vivos, tales como humanos, organismos del suelo, plantas y animales. (Spain *et al.*, 2003).

Estos contaminantes pueden alcanzar niveles de concentración que provocan efectos negativos en las propiedades físicas, químicas y biológicas como: reducción del contenido de materia orgánica, disminución de nutrientes, variación del pH generando suelos ácidos, amplias fluctuaciones en la temperatura, efectos adversos en el número, diversidad y actividad en los microorganismos de la rizósfera, dificultan el crecimiento de una cubierta vegetal protectora favoreciendo la aridez, erosión del suelo, y la dispersión de los contaminantes hacia zonas y acuíferos adyacentes y como consecuencia aumenta la vulnerabilidad de la planta al ataque por insectos, plagas y enfermedades, afectando su desarrollo (Zhang *et al.*, 2000).

Se definen como “metales pesados” aquellos elementos químicos que presentan una densidad igual o superior a 5 g/cm<sup>3</sup> cuando están en forma elemental, o cuyo número atómico es superior a 20 (excluyendo a los metales alcalinos y alcalinotérreos). Su presencia en la corteza terrestre es inferior al 0,1% y casi

siempre menor del 0,01%. Se pretende indicar con este término aquellos metales que, siendo elementos pesados, son “tóxicos” para la célula (Navarro *et al.*, 2007).

Las principales fuentes de metales pesados son actividades naturales, como desgastes de cerros, volcanes, que constituyen una fuente relevante de los metales pesados en el suelo, así como también actividades antropogénicas como la industria minera que está catalogada como una de las actividades industriales más generadora de metales pesados. En el suelo, los metales pesados, están presentes como iones libres, compuestos metálicos solubles, compuestos insolubles como óxidos, carbonatos e hidróxidos,(Pineda, 2004).

#### **2.4.1 Contaminación del suelo por metales pesados**

Las revoluciones verdes, han sido consideradas como procesos históricos de modernización de la agricultura, debido al cambio radical en las prácticas agrícolas. En efecto, con suplementación se han plantado variedades de cultivo de alto rendimiento, organismos genéticamente modificados (OGM), sistemas de riego, uso de maquinaria agrícola y el uso masivo de fertilizantes de origen químico, de pesticidas. Esto ha traído entre otras consecuencias la acumulación de elementos tóxicos en el suelo como los metales pesados, los cuales pueden generar riesgo de salud pública en la medida que se transfieran a los productos agroalimentarios, especialmente en países en vías de desarrollo donde las medidas de trazabilidad de los productos no son estrictas (Nava & Méndez, 2011).

En este sentido, los sistemas de producción agrícola constituyen una fuente importante no puntual de contaminantes tipo metales pesados, y a su vez facilita la acumulación de éstos en el suelo y/o la transferencia en la cadena suelo - planta – consumidor, principalmente en regiones donde estos procesos se realizan de manera intensiva y sin periodos de descanso ni rotación de cultivos. (Alloway, 2013), identificó que algunos metales pesados están directamente relacionados con fuentes específicas como: fertilizantes (Cd, Cr, Mo, Pb, Zn), plaguicidas (Cu, As, Hg, Pb, Mn, Zn), compost derivados de residuos sólidos convencionales (Cd, Cu, Ni, Pb, Zn) y del estiércol (Cu, As, Zn).

(Becerril *et al.*, 2007) nos menciona que una de las consecuencias más negativas de la revolución industrial ha sido la dispersión de los contaminantes en el agua, atmósfera y suelo. De éstos, el suelo es el medio más estático, donde los contaminantes pueden permanecer durante mucho tiempo. Esta permanencia a largo plazo es especialmente grave en el caso de contaminantes inorgánicos como los metales pesados, que no pueden ser degradados. Su persistencia, acumulación progresiva y/o su transferencia a otros sistemas supone una amenaza para la salud humana y la de los ecosistemas.

Las concentraciones anómalas de metales pesados en los suelos pueden deberse básicamente a dos tipos de factores: causas naturales y causas antropogénicas. Las causas naturales pueden ser entre otras, actividad volcánica, procesos de formación de suelos, meteoros, erosión de rocas, terremotos, tsunamis, etc. Las causas antropogénicas pueden ser la minería, la combustión de carburantes fósiles, la industria a través de los vertidos, emisiones, residuos, incineración, depósito, como algunos pesticidas y fertilizantes, etc.(Navarro *et al.*, 2007).

La contaminación del suelo por metales pesados está fundamentalmente relacionada con diferentes tipos de actividades humanas. Una vez en el suelo, éstos pueden quedar retenidos en el mismo pero también pueden ser movilizados en la solución del suelo mediante diferentes mecanismos biológicos y químicos (Pagnanelli *et al.*, 2004). Los metales pesados adicionados a los suelos se redistribuyen y reparten lentamente entre los componentes de la fase sólida. Dicha redistribución se caracteriza por una rápida retención inicial y posteriores reacciones lentas, dependiendo de las especies del metal, propiedades del suelo, nivel de introducción y tiempo (Han *et al.*,2003).

La movilidad relativa de los elementos traza en suelos es de suma importancia en cuanto a su disponibilidad y su potencial para lixiviarse de los perfiles del suelo al agua subterránea y difiere de si su origen es natural o antrópico y, dentro de este último, al tipo de fuente antrópica (Burt *et al.*, 2003).

Los factores que influyen en la movilización de metales pesados en el suelo son:  
Características del suelo: pH, potencial redox, composición iónica de la solución del

suelo, capacidad de cambio, presencia de carbonatos, materia orgánica y textura. Naturaleza de la contaminación: origen de los metales y forma de deposición y condiciones medioambientales: acidificación, cambios en las condiciones redox, variación de temperatura y humedad (Sauquillo *et al.*, 2003).

En general, los metales pesados incorporados al suelo pueden seguir cuatro diferentes vías: quedan retenidos en el suelo, ya sea disueltos en la fase acuosa del suelo, ocupando sitios de intercambio o específicamente adsorbidos sobre constituyentes inorgánicos del suelo, asociados con la materia orgánica del suelo y/o precipitados como sólidos puros o mixtos; pueden ser absorbidos por las plantas y así incorporarse a las cadenas tróficas; pasan a la atmósfera por volatilización y se movilizan a las aguas superficiales o subterráneas (García & Dorronsoro, 2005).

Para elucidar el comportamiento de los metales pesados en los suelos y prevenir riesgos tóxicos potenciales se requiere la evaluación de la disponibilidad y movilidad de los mismos (Banat *et al.*, 2005). La toxicidad de los metales depende no sólo de su concentración, sino también de su movilidad y reactividad con otros componentes del ecosistema (Abollino *et al.*, 2002).

#### **2.4.2 Cadmio**

El cadmio es relativamente raro en la naturaleza y regularmente se asocia al zinc. Es de color blanco ligeramente azulado. Su peso atómico es de 112 y su densidad relativa de 8. Tiene ocho isótopos estables y presenta once radioisótopos inestables de tipo artificial. (Peris, 2006) (Zamora *et al.*, 2008). Estados Unidos, Canadá, México, Australia, Bélgica, Luxemburgo y República de Corea son productores importantes. (Eurachem, 2014). El cadmio se usa en pinturas, plásticos, pilas, baterías, abonos, soldaduras, asbestos, pigmentos, barras, farmacéutica, fotografía, vidrio, porcelana, etc. (Wasson *et al.*, 2005). Para la mayoría de los seres vivos la principal fuente de exposición al cadmio son los alimentos y el agua, (Rogers *et al.*, 2012).

Las pequeñas partículas de cadmio son absorbidas por el aparato respiratorio, especialmente en trabajadores de la industria del cadmio y en personas expuestas

al humo del tabaco. (Hernández, 2011). En animales, los rangos de absorción son muy diversos, pero más bajos que en humanos. Las especies con dieta vegetal son las de mayor acumulación de cadmio, debido a que los alimentos ricos en fibra como cereales, vegetales y papas contribuyen a una mayor exposición. En exposición crónica se observa anemia, disfunción renal, cálculos renales, osteoporosis, osteomalacia, trastornos respiratorios, hipertensión, trastornos nerviosos, cefalea, vértigo, alteración del sueño, sudoración, contracciones musculares involuntarias, pérdida de peso y apetito, cáncer de próstata y pulmón. En intoxicación aguda hay neumonitis y edema pulmonar, gastroenteritis, náuseas, vómito, dolor abdominal, diarrea, fallo renal, y finalmente puede ocurrir aberraciones cromosómicas, efectos teratogénicos y congénitos. En riñón (túbulos renales) se puede acumular hasta por 30 años. (International lead association, 2014). (Järup *et al.*, 2012). (World health organization, 2008).

### **2.4.3 Plomo**

El plomo cuenta con un número atómico de 82, su peso atómico 207, es de color azulado, forma muchas sales, óxidos y compuestos organometálicos. (Hardman *et al.*, 2011). Los minerales comerciales suelen contener poco plomo (3%), lo más común es que sea del (10%). Los minerales antes de fundirse pueden acumular hasta 40% o más de plomo. (Rahimi, 2013). Se usa como aditivo antidetonante en la gasolina, baterías, en monitores de computadores y pantallas de televisión, joyería, latas de conserva, tintes para el pelo, grifería, pigmentos, aceites, cosmetología, aleaciones, cerámicas, municiones, soldaduras, plomadas, armamento, radiación atómica, insecticidas, etc. (Lanphear *et al.*, 2012). La absorción de plomo es un grave riesgo de salud pública; provoca retraso del desarrollo mental e intelectual de los niños, causa hipertensión y enfermedades cardiovasculares en adultos. La intoxicación se debe a la ingestión accidental de compuestos de plomo o a la ingestión por parte de los animales de forrajes o alimentos con plomo, procedentes de áreas ambientalmente contaminadas. (Agency for toxic substances and disease control, 2011). La absorción de plomo por vía oral es cerca al 10% en adultos y se puede incrementar hasta 50% en niños. El

plomo absorbido se distribuye en riñón, hígado, encéfalo y huesos por semejanza con el calcio. El mayor depósito de plomo son los huesos hasta por 20 años; interfiere en la función del calcio, inhibe la síntesis de hemoglobina y causa daño neurológico. (International programme on chemical safety, 1998). Los efectos agudos en sistema nervioso central consisten en dolor y debilidad muscular, crisis hemolítica, anemia grave y hemoglobinuria. Aunque la intoxicación aguda puede causar la muerte, es más frecuente que el paciente se recupere y presente intoxicación crónica con daño gastrointestinal, neuromuscular, nervioso, hematológico, renal y reproductivo. (World health organization (WHO), 2005). (Micrill *et al.*, 2013). A nivel gastrointestinal hay anorexia, cefalea, estreñimiento, espasmo intestinal y dolor abdominal. Los síntomas neuromusculares presentan debilidad muscular y cansancio seguida de parálisis de músculos del antebrazo, muñeca y dedos de la mano y algunas veces pies, estos síntomas eran característicos de enfermedad de pintores, en la actualidad la sustitución de pigmentos con plomo y las mejoras en las condiciones de seguridad e higiene industrial están propiciado la desaparición de esta intoxicación.(Rey *et al.*, 2013). En animales se ha demostrado el efecto tóxico sobre los gametos y aumento de la concentración de plomo en sangre materna, que reduce la duración de la gestación y de peso al nacimiento de las crías. (Tavakoly *et al.*, 2011). El plomo puede desencadenar efectos teratogénicos en sistema nervioso del feto e interferir con su desarrollo normal. El plomo y sus compuestos están clasificados en el grupo 2B, probablemente cancerígenos para el hombre.

#### **2.4.4Cobre**

El número atómico del cobre es 29, es un metal no ferroso. Su utilidad se debe a la combinación de sus propiedades químicas, eléctricas, físicas y mecánicas, además de su abundancia. El cobre se usa en equipo eléctrico, maquinaria industrial, construcción, en aleaciones de bronce: latón, níquel, clavos, pernos, objetos decorativos, tuberías, techos, monedas, utensilios de cocina, joyería, muebles, maquillaje, pinturas, instrumentos musicales y medios de transporte. Además, el sulfato de cobre es uno de los primeros compuestos utilizados en alimentación

animal como pesticidas, las sales de cobre poseen efectos fungicidas. (Repetto & Sanz, 2012). La exposición aguda por ingestión del sulfato de cobre puede producir necrosis hepática y muerte. La exposición crónica de alimentos conservados en recipientes de cobre genera lesiones hepáticas en niños. (Ramakritinan *et al.*, 2012). Altas concentraciones de sales solubles de cobre conllevan a coagulación proteica e inflamación severa de mucosa digestiva, si el animal sobrevive desarrollará hemólisis intravascular. Las muertes rápidas se deben a insuficiencia hepática, mientras que los decesos tardíos se producen por insuficiencia renal. No existe evidencia de efectos cancerígenos del cobre o sus compuestos por ninguna vía de exposición. Puede generar diversas alteraciones como: anemia hipocrómica, disminuye la tasa de crecimiento, diarreas, cambios de coloración del pelo o de lana, ataxia neonatal, alteración del crecimiento, infertilidad temporal e insuficiencia cardíaca. (Dhir & Kumar, 2012). (García *et al.*, 2012).

#### **2.4.5 Plantas hiperacumuladoras de metales pesados**

Según Boyd (2012), la defensa de las plantas puede considerarse bajo distintos puntos de vista:

- Mecánica: espinas, coberturas, etc.
- Química: diferentes compuestos inorgánicos y orgánicos.
- Visual: crípsis y mimetismo.
- Comportamiento: relacionado con modificaciones en la fenología.
- Asociativa: simbiosis con otros organismos, como es el caso del género *Cecropia* que establece simbiosis con las hormigas del género *Azteca*, las cuales protegen a estas plantas

En este sentido, hay tres características principales que describen las plantas hiperacumuladoras:

- 1.-Fuerte aumento de la tasa de absorción de metales pesados.
- 2.-Raíces que realizan la translocación más rápidamente.

3.-Gran habilidad por detoxificar y acumular metales pesados en hojas.

Por lo tanto, las plantas hiperacumuladoras están bien preparadas para la asimilación, translocación a hojas y acumulación de grandes cantidades de metales pesados en vacuolas o en paredes celulares. En parte, esto es debido a una sobreexpresión constitutiva de genes que codifican para transportadores de membrana.

Este tipo de plantas que son las más raras y estas especies que acumulan metales en sus tejidos aéreos, incluso cuando la concentración de los metales en suelo es muy baja; son las especies hiperacumuladoras. Su concentración final en los tejidos aéreos depende del metal y de la especie, llegando a superar el 2% de su peso seco (Becerril *et al.*, 2007).

La hiperacumulación de metales no es un fenómeno común en las plantas superiores terrestres; las plantas hiperacumuladoras son relativamente raras y frecuentemente se encuentran en áreas geográficas remotas (Kidd & Monterroso, 2003).

#### **2.4.6 Fitorremediación del suelo**

Esta estrategia presenta las ventajas de que se pueden realizar in situ, es decir sin necesidad de transportar el suelo o sustrato contaminado, son de bajo coste, permiten su aplicación, tanto a suelos como a aguas, sólo requieren prácticas agronómicas convencionales, actúan positivamente sobre el suelo, mejorando sus propiedades físicas y químicas, y son ambientalmente aceptables, debido a que se basan en la formación de una cubierta vegetal.(Carpena & Bernal, 2007).

Tiene como objetivo degradar y/o asimilar, los metales pesados, presentes en el suelo, lo cual tiene muchas ventajas con respecto a los métodos convencionales de tratamientos de lugares contaminados; en primer lugar es una tecnología económica, de bajo costo, en segundo lugar posee un impacto regenerativo en lugares en donde se aplica y en tercer lugar su capacidad extractiva se mantiene debido al crecimiento vegetal (Harvey *et al.*, 2002).

La fitorremediación no es un remedio para todos los suelos contaminados, antes de que esta tecnología pueda volverse técnicamente eficiente y económicamente viable, hay algunas limitaciones que necesitan ser superadas como por ejemplo, sus mecanismos tanto moleculares, bioquímicos y fisiológicos los cuales son pocos conocidos e insuficientemente entendidos, sin embargo, a pesar de esto un gran número de plantas hiperacumuladoras todavía pueden descubrirse e identificarse (Freitas *et al.*, 2004).

La fitorremediación es el uso de plantas para recuperar suelos contaminados, es una tecnología *in situ* no destructiva y de bajo costo y está basada en la estimulación de microorganismos degradadores. (Merkl *et al.*, 2004). Consiste en el uso de plantas, sus microorganismos o enzimas asociadas, así como de la aplicación de técnicas agronómicas para degradar, retener o reducir a niveles inofensivos los contaminantes ambientales a través de procesos que logran recuperar la matriz o estabilizar al contaminante. Dentro de las técnicas de restauración de suelos afectados por la contaminación, la fitorremediación ha adquirido auge por ser un procedimiento pasivo, estéticamente agradable, útil para remediar simultáneamente una gran variedad de contaminantes (Frick *et al.*, 1999).

#### **2.4.7 Fitoextracción**

La fitoextracción es una tecnología que se fundamenta en el uso de plantas acumuladoras de elementos tóxicos o compuestos orgánicos para retirarlos del suelo mediante su absorción y concentración en las partes cosechables (Carpena & Bernal, 2007).

Se estructura a partir del uso de procesos fisiológicos que permiten actuar a la planta como un succionador que a través de la fotosíntesis puede extraer los metales del suelo por medio de las raíces para luego almacenarlas en sus tejidos aéreos. Dentro de las plantas con mayor potencial para este tipo de prácticas encontramos las especies metalofitas, especies que soportan altos niveles de metales y sobreviven en forma endémica en los mismos. Dentro de las especies con potencial para la fitoextracción de metales se encuentran los pastos que son el género más adecuado para la fitorremediación de formas orgánicas e inorgánicas

de metales, por su hábitat de crecimiento y adaptabilidad a una variedad de condiciones edáficas y climáticas. La fitoextracción debe considerarse como una tecnología de largo plazo, que puede requerir de varios ciclos de cultivo para reducir la concentración de los contaminantes a niveles aceptables. El tiempo requerido depende de la concentración y tipo de contaminante(s), de la duración del periodo de crecimiento y de la eficiencia de remoción de la especie utilizada (Volke *et al.*, 2005).

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Ubicación geográfica

La Comarca Lagunera es la región ubicada en el centro-norte de México, está conformada por parte de los estados de Coahuila y Durango. El experimento se llevó a cabo en el invernadero de la “Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro” Unidad Laguna (UAAAN-UL) en Torreón Coahuila México, ubicado con las coordenadas 103° 25' 57" de longitud Oeste del Meridiano de Greenwich y 25° 31' 11" de latitud Norte, con una altura de 1,123 msnm (CNA, 2005).



Figura 1. Ubicación Geográfica del Invernadero.

#### 3.2 Muestreo de plantas

Las plantas de la Chicura (*Ambrosia ambrosioides*) fueron recolectadas en las orillas del lecho del río Nazas ubicado entre Torreón y Gómez Palacio Durango.

Se colectaron plantas entre 25 y 35 cm de altura, con suficiente área foliar y se trasplantaron en macetas provisionales de plástico para facilitar su transporte.

Se recolectaron alrededor de 35 plantas de las cuales se seleccionaron 16 para la elaboración de este trabajo.



Figura 2. Plantas Recolectadas en macetas provisionales.

### 3.2.1 Adaptación de las plantas

Las plantas recolectadas fueron llevadas al invernadero ubicado en la Universidad Agrónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN) de la unidad laguna donde fueron sometidas a una etapa de limpieza para tratar de minimizar los residuos de metales pesados que estas pudieran tener en su interior. Para esto fue necesario regar las plantas de la chicura (*Ambrosia ambrosioides*) con solución estéril alrededor de 1 semana.



Figura 3. Invernadero Utilizado para la adaptación de las plantas.

### 3.3 Tratamientos

Se evaluaron 3 metales (Cd, Cu y Pb) a dos concentraciones. Una a 90 ppm y la otra a 0ppm.

En garrafones de plástico con capacidad de 20 litros, se efectuó la mezcla de solución Steiner previamente preparada en agua destilada y estándares de metales pesados de alta pureza (Cd, Cu y Pb) de mil partes por millón de la marca Perkin Elmer. Las concentraciones fueron de 90 mg L<sup>-1</sup> de cada metal.

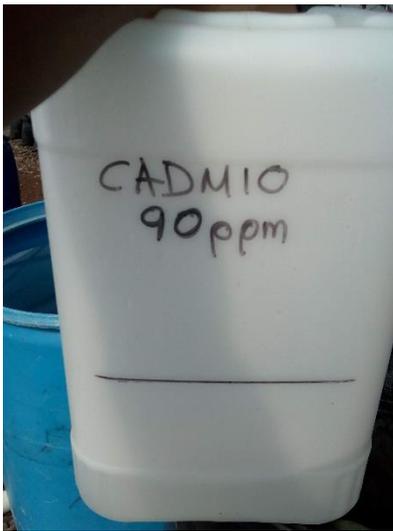


Figura 4. Garrafón de 20lts con concentración de cadmio a 90ppm.

#### 3.3.1 Desarrollo del experimento

Después de ser desinfectadas, las plantas de la chicura fueron trasplantadas en macetas de 1200 cm<sup>3</sup> de volumen con un sustrato compuesto por arena (80 %) previamente lavada con hipoclorito de sodio al 5 % y perlita (20 %). La arena es un sustrato químicamente inerte que actúa como soporte de la planta, no interviene en el proceso de adsorción y fijación de nutrientes. La perlita se utilizó para evitar la compactación de la arena.



Figura 5. Plantas de la Chicura trasplantadas a las macetas definitivas.

Luego del trasplante se seleccionaron 16 plantas las cuales fueron divididas en 4 grupos de 4 plantas cada una para llevar a cabo el procedimiento de la aplicación del metal, así como se muestra en la figura 6.



Figura 6. Plantas de la Chicura seleccionadas.

Desde que se realizó el trasplante, cada tercer día las plantas fueron irrigadas con 250 ml de solución de su respectivo tratamiento. El riego fue realizado en las mañanas alrededor de las 7:00 – 8:00 am para eficientar la absorción de la aplicación de los tratamientos y evitar que estas se evaporaran por las altas temperaturas. En total se dieron 10 riegos.

### **3.3.2 Cosecha de las plantas**

Después de casi 3 semanas de haber regado las plantas con sus respectivos tratamientos, las plantas fueron extraídas de las macetas para su posterior clasificación.

### **3.3.3 Clasificación de las plantas**

Luego de ser extraídas de las macetas, las plantas fueron lavadas con agua común.

Después del lavado, las plantas fueron separadas por raíz, tallo y hoja y fueron colocadas dentro de bolsas de papel canela previamente etiquetadas con orificios para evitar la presencia de hongos a causa de la humedad.

### **3.3.4 Secado**

Las bolsas de papel canela fueron colocadas en el piso de manera extendida en uno de los laboratorios de suelo de la UAAAN expuestas a temperaturas de entre 28-30°C por 1 semana completa.

Posteriormente por cuestiones climáticas las plantas no lograban estar completamente secas y con apoyo de una estufa de secado de la marca Felisa fueron introducidas a 65°C durante 24 horas.

### **3.3.5 Molienda de las plantas**

Se utilizó el método de digestión por vía seca (DVS), esta metodología se realizó en el Departamento de Suelos de la UAAAN-UL el procedimiento es el siguiente:

El proceso inicia con la molienda de la planta que es triturada en un molino eléctrico hasta que queda de manera homogénea con textura de polvo.

Después es tamizada y las muestras son colocadas en bolsas de plástico pequeñas previamente etiquetadas.



Figura 7. Muestras molidas.

Luego de la molienda de las plantas se procedió a pesar 1 gramo de muestra en una balanza analítica con la ayuda de un crisol para proceder a introducirlo dentro de una mufla de la marca Furance 1500 en donde se calcinaron las muestras a una temperatura de 600°C durante 4 horas.



Figura 8. Balanza Analítica



Figura 9. Mufla marca Furance 1500

Posteriormente después de que se realizó la calcinación, a la ceniza que quedó en el crisol se le agregó 10 ml de HCL al 37% y se agitó por 10 segundos y se dejó reposar por 20 minutos.



Figura 10. Muestras antes de ser calcinadas en la mufla.

Después se pasó la muestra contenida en el crisol a un matraz volumétrico de 100ml y se le agregan 10ml de CsCl y se afora.



Figura 11. Muestras listas para la aplicación de CsCl.

Una vez aforado el matraz volumétrico se pasó a filtrar colocando el residuo en botes de plástico.

El residuo obtenido en el bote de plástico fue el utilizado para analizar los metales pesados evaluados.

### 3.3.6 Determinación de los metales pesados

La cuantificación de metales pesados se realizó en un espectrofotómetro de absorción atómica Perkin-Elmer 2380.

Se utilizó para la curva de calibración del equipo un estándar de 1000 ppm de cada metal y se colocó la lámpara correspondiente. Estas determinaciones fueron realizadas en el laboratorio de suelos de la UAAAN-UL.



Figura 12. Espectrofotómetro de absorción atómica.



Figura 13. Lámpara de cadmio.

### 3.3.7 Análisis estadístico

En este estudio se consideró a la planta como la unidad experimental con un muestreo destructivo, por ello el análisis estadístico fue un diseño factorial de A por B, donde el factor A corresponde a su concentración y B a los Metales pesados.

Factor A:

A1- 0mg L<sup>-1</sup>

A2- 90mg L<sup>-1</sup>

Factor B:

B1- Cadmio

B2- Plomo

B3- Cobre

Asimismo, la prueba de medias se realizó por el método de Tuckey's y se llevó a cabo utilizando el programa SAS.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Concentración de metales pesados

A continuación, se presenta la acumulación de cada metal pesado bajo diferentes concentraciones aplicadas en raíz, tallo y hoja de chicura (*Ambrosia ambrosioides*)

#### 4.1.1 Cadmio

En el Cuadro 1 se presenta la concentración de cadmio en cada estructura morfológica de la planta bajo diferentes concentraciones aplicadas.

Cuadro 1. Concentración de Cadmio en cada estructura morfológica.

| Parte de la planta | Concentración           |                         |
|--------------------|-------------------------|-------------------------|
|                    | 0 (mg L <sup>-1</sup> ) | 90(mg L <sup>-1</sup> ) |
| Raíz               | 136.10                  | 1682.90                 |
| Tallo              | 53.55                   | 81.78                   |
| Hoja               | 273.00                  | 733.00                  |

La mayor acumulación de cadmio en la raíz se dio en la concentración de 90 (mg L<sup>-1</sup>) con un valor de 1682.90 (mg Kg<sup>-1</sup>). En el Cuadro 1 se puede apreciar que en las tres partes morfológicas de la planta se presentó un aumento de acumulación al aplicar la concentración de 90 (mg L<sup>-1</sup>).

En la concentración de 0 (mg L<sup>-1</sup>) se puede observar la presencia de cadmio en pequeñas cantidades, la explicación de lo anterior es debido a que las plantas fueron cosechadas de sitios donde seguramente estaba presente este metal pesado.

#### 4.1.2 Cobre

En el Cuadro 2 se presenta la concentración de cobre en cada estructura morfológica de la planta bajo diferentes concentraciones aplicadas.

Cuadro 2. Concentración de Cobre en cada estructura morfológica.

| Parte de la planta | Concentración           |                         |
|--------------------|-------------------------|-------------------------|
|                    | 0 (mg L <sup>-1</sup> ) | 90(mg L <sup>-1</sup> ) |
| Raíz               | 797.50                  | 2530.00                 |
| Tallo              | 191.49                  | 90.57                   |
| Hoja               | 2123.00                 | 1674.00                 |

La mayor acumulación de cobre en las tres partes morfológicas de la planta se dio en la raíz con la concentración de 90(mg L<sup>-1</sup>), con una acumulación de 2530.00 (mg Kg<sup>-1</sup>). La menor acumulación de todos los datos recolectados fue en el tallo con la concentración de 90 (mg L<sup>-1</sup>) con un valor de 90.57 (mg Kg<sup>-1</sup>).

#### 4.1.3 Plomo

Cuadro 3. Concentración de Plomo en cada estructura morfológica de la planta.

| Parte de la planta | Concentración           |                         |
|--------------------|-------------------------|-------------------------|
|                    | 0 (mg L <sup>-1</sup> ) | 90(mg L <sup>-1</sup> ) |
| Raíz               | 452.8                   | 448.3                   |
| Tallo              | 46.4                    | 48.29                   |
| Hoja               | 184                     | 3968                    |

En la hoja la mayor acumulación de plomo se dio en la concentración de 90 (mg L<sup>-1</sup>), por otra parte en el tallo de la planta la mayor acumulación se presentó en la concentración de 90 (mg L<sup>-1</sup>) con 48.29 (mg Kg<sup>-1</sup>), en la raíz la concentración más elevada fue en la de 0 (mg L<sup>-1</sup>) con 452.8. La menor acumulación en general se presentó en la concentración de 0 (mg L<sup>-1</sup>). La presencia de plomo en la planta en la concentración de 0 (mg Kg<sup>-1</sup>) es debido a que las plantas fueron recolectadas de un área donde seguramente estaba presente dicho metal pesado en el suelo.

#### 4.2 Acumulación de metales pesados en las estructuras morfológicas de la planta

##### 4.2.1 Raíz

En el Cuadro 4 se presenta la acumulación de metales pesados en la raíz de la planta.

Cuadro 4: Acumulación de metales en la raíz (kg de peso seco).

|               |           | Raíz      |          |  |             |
|---------------|-----------|-----------|----------|--|-------------|
| Concentración | Metal     |           |          |  |             |
|               | Cadmio    | Cobre     | Plomo    |  | Medias de A |
| 0             | 136.1 c   | 797.50 bc | 452.8 bc |  | 462.2 b     |
| 90            | 1682.9 ab | 2530 a    | 448.3 bc |  | 1553.7 a    |
| Medias de B   | 909.50 b  | 1663.80 a | 450.6 b  |  |             |

Para el factor metal pesado, el cobre fue el metal que más absorbió la raíz de la planta 1663.8 (mg Kg<sup>-1</sup>), el que tuvo la menor absorción fue el plomo con 450.6 (mg Kg<sup>-1</sup>). En el factor concentración se observó que en 90 (mg L<sup>-1</sup>) fue donde se presentó la mayor acumulación 1553.7 (mg Kg<sup>-1</sup>) y la menor en 0 (mg L<sup>-1</sup>) 462.2 (mg Kg<sup>-1</sup>).

En los tratamientos, cobre-90 (mg L<sup>-1</sup>) (tratamiento 5) fue donde se encontró la mayor acumulación de metal pesado en la raíz 2530 (mg Kg<sup>-1</sup>) seguido por la acumulación en cadmio-90 (mg L<sup>-1</sup>) (tratamiento 4). La menor acumulación se presentó en cadmio-0 (mg L<sup>-1</sup>) 136.1 (tratamiento 1).

En la figura 14 se presenta la acumulación de metales pesados en la raíz de chicura (*Ambrosia ambrosioides*).

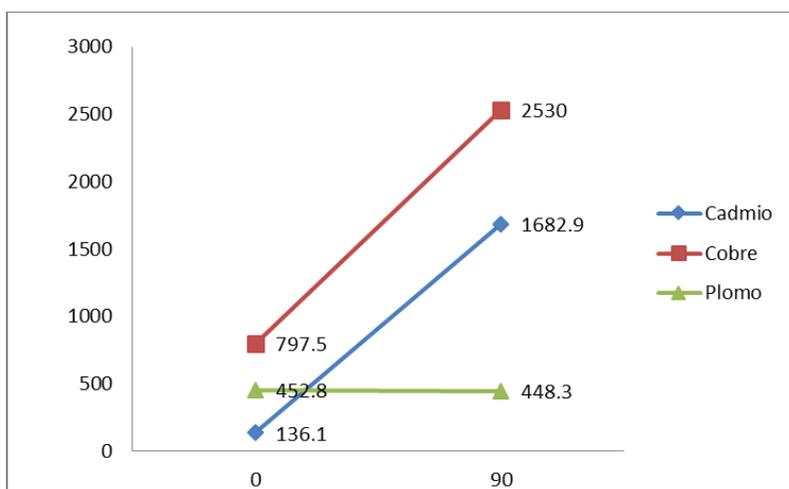


Figura 14. Acumulación de metales pesados en la raíz.

En la figura 15 se presenta la acumulación para el factor metal pesado en la raíz.

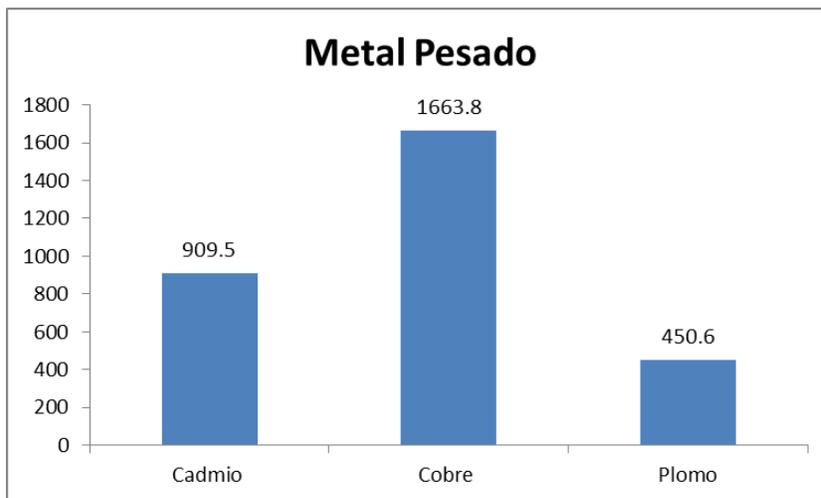


Figura 15. Factor metal pesado en la raíz.

En la figura 16 se presenta la acumulación para el factor concentración en la raíz.

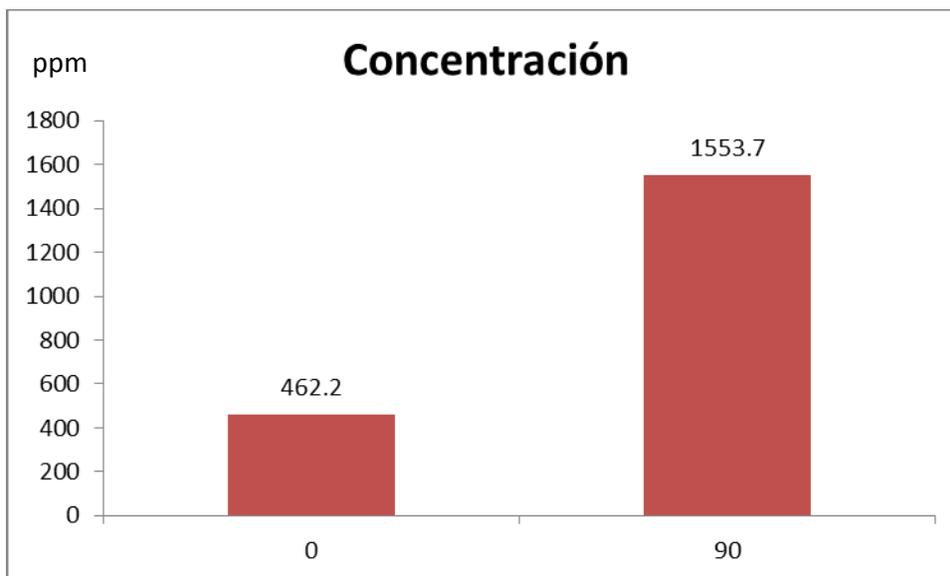


Figura 16. Factor concentración en la raíz.

#### 4.2.2 Tallo

En el Cuadro 5 se presenta la acumulación de metales pesados en el tallo de la planta.

Cuadro 5. Acumulación de metales en el tallo de la planta.

| Tallo         |         |         |        |           |
|---------------|---------|---------|--------|-----------|
| Concentración | Metal   |         |        | Medias de |
|               | Cadmio  | Cobre   | Plomo  | A         |
| 0             | 53.55a  | 191.49a | 46.4a  | 97.15a    |
| 90            | 81.78a  | 90.57a  | 48.29a | 73.55a    |
| Medias de B   | 67.66ab | 141.03a | 47.34b |           |

Para el factor metal pesado el cobre fue el que más absorbió el tallo de la planta 141.03 (mg Kg<sup>-1</sup>), el metal que tuvo menor absorción fue el plomo 47.34 (mg Kg<sup>-1</sup>). En el factor concentración se observó que en 0 (mg L<sup>-1</sup>) se presentó la mayor acumulación 97.15 (mg Kg<sup>-1</sup>) y la menor en 90 (mg L<sup>-1</sup>) 73.55 (mg Kg<sup>-1</sup>). Esto debido a que las plantas utilizadas en este experimento fueron recolectadas de un área donde había residualidad de estos metales pesados en el suelo.

En los tratamientos, cobre-0 (mg L<sup>-1</sup>) (tratamiento 2) presentó la mayor acumulación de metal pesado 191.49 (mg Kg<sup>-1</sup>) debido a que la planta utilizada ya presentaba en su fisiología residuos de dichos metales pesados. La menor acumulación se presentó en plomo-0 (mg L<sup>-1</sup>).

En la figura 17 se presenta la acumulación de metales pesados en el tallo de chicura (*Ambrosia ambrosioides*).

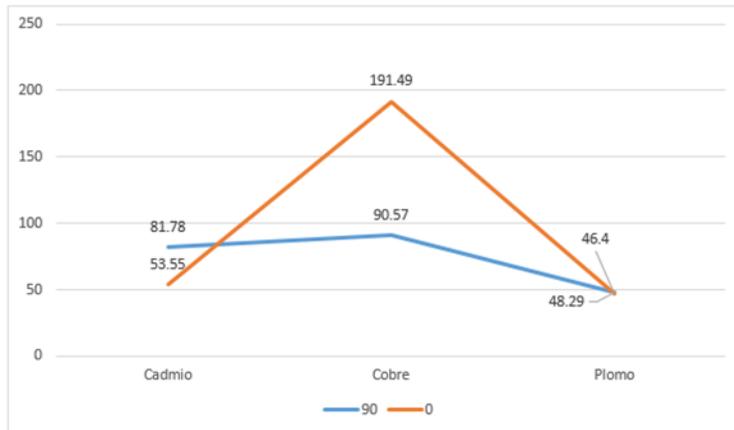


Figura 17. Acumulación de metales pesados en el tallo.

En la figura 18 se presenta la acumulación para el factor metal pesado en el tallo.

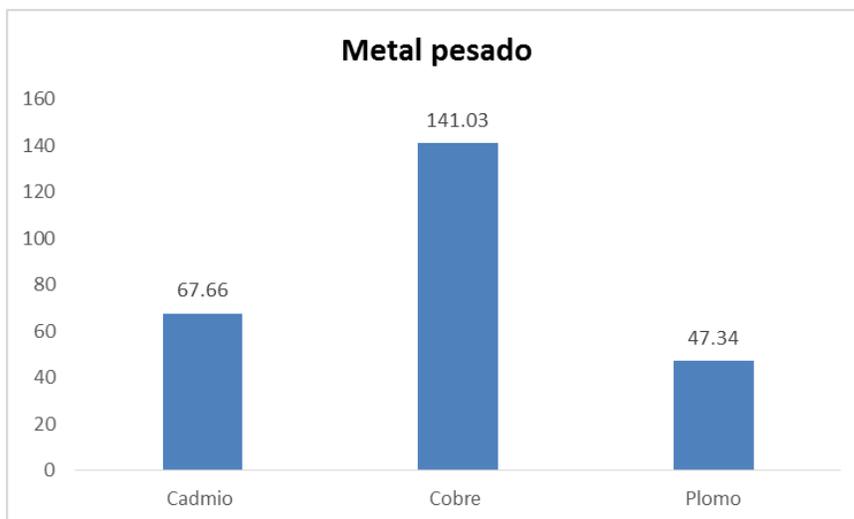


Figura 18. Factor metal pesado en tallo.

En la figura 19 se presenta la acumulación para el factor concentración en el tallo.

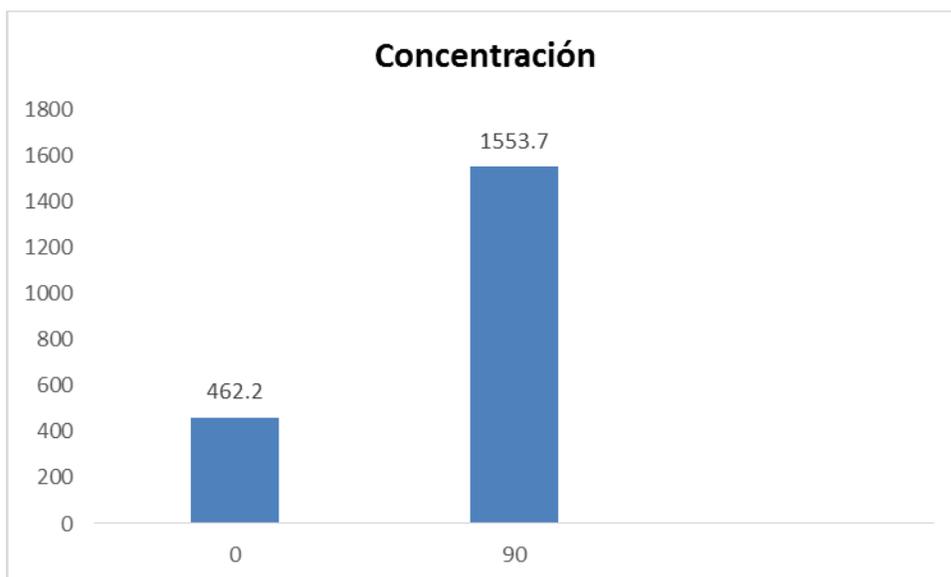


Figura 19. Factor concentración en tallo.

#### 4.2.3 Hoja

En el Cuadro 6 se presenta la acumulación de metales pesados en la hoja de la planta.

Cuadro 6: Metales pesados en la hoja.

| Hoja          |        |       |       |             |
|---------------|--------|-------|-------|-------------|
| Concentración | Metal  |       |       |             |
|               | Cadmio | Cobre | Plomo | Medias de A |
| 0             | 273b   | 2123a | 184b  | 860.3a      |
| 90            | 733ab  | 1674a | 3968a | 2124.8a     |
| Medias de B   | 503a   | 1899a | 2076a |             |

Para el factor metal pesado el plomo fue el que más absorbió la hoja 2076 (mg Kg<sup>-1</sup>), y el que obtuvo la menor cantidad fue el cadmio con 503 (mg Kg<sup>-1</sup>). En el factor concentración se observó que en 90 (mg L<sup>-1</sup>) fue donde se presentó la mayor

acumulación de los metales 2124.8 ( $\text{mg Kg}^{-1}$ ); la menor se presentó en la concentración de 0 ( $\text{mg L}^{-1}$ ) con 860.3 ( $\text{mg Kg}^{-1}$ ).

En los tratamientos, cobre-0 ( $\text{mg L}^{-1}$ ) (tratamiento 2) y plomo-90 ( $\text{mg L}^{-1}$ ) (tratamiento 6) es donde se encontraron las mayores acumulaciones de metal pesado en la hoja 2123 y 3968 ( $\text{mg Kg}^{-1}$ ) respectivamente. La menor acumulación en la hoja se presentó en plomo-0 ( $\text{mg L}^{-1}$ ) (tratamiento 3) y cadmio-0 ( $\text{mg L}^{-1}$ ) (tratamiento 1) con 184 y 273 ( $\text{mg Kg}^{-1}$ ).

En la figura 20 se presenta la acumulación de metales pesados en la hoja de chicura (*Ambrosia ambrosioides*).

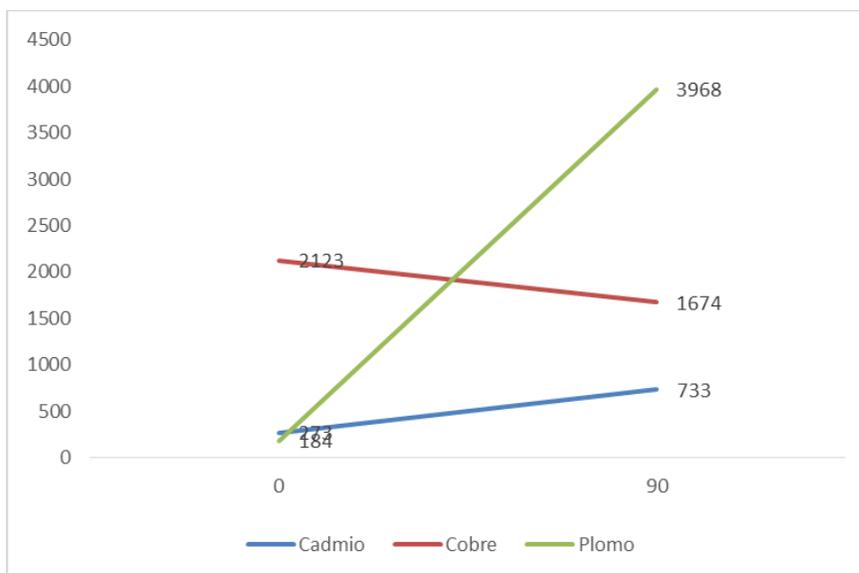


Figura 20. Acumulación de metales pesados en la hoja.

En la figura 21 se presenta la acumulación para el factor metal pesado en la hoja.

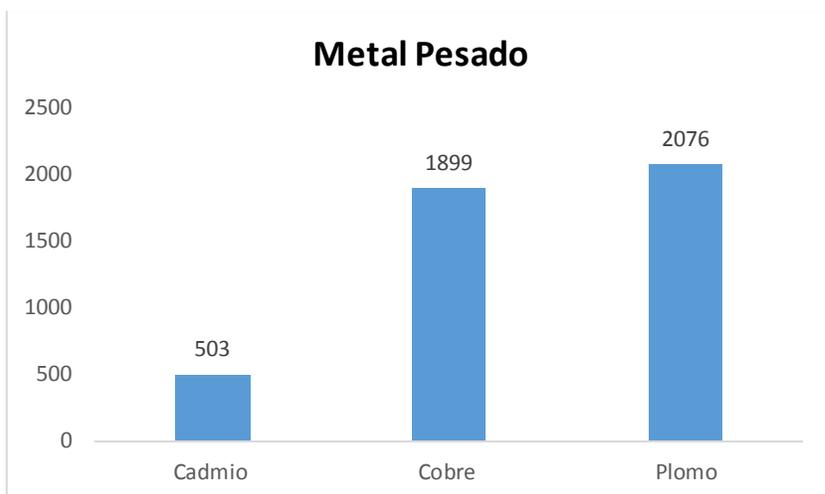


Figura 21. Factor metal pesado en la hoja.

En la figura 22 se presenta la acumulación para el factor concentración en la hoja.

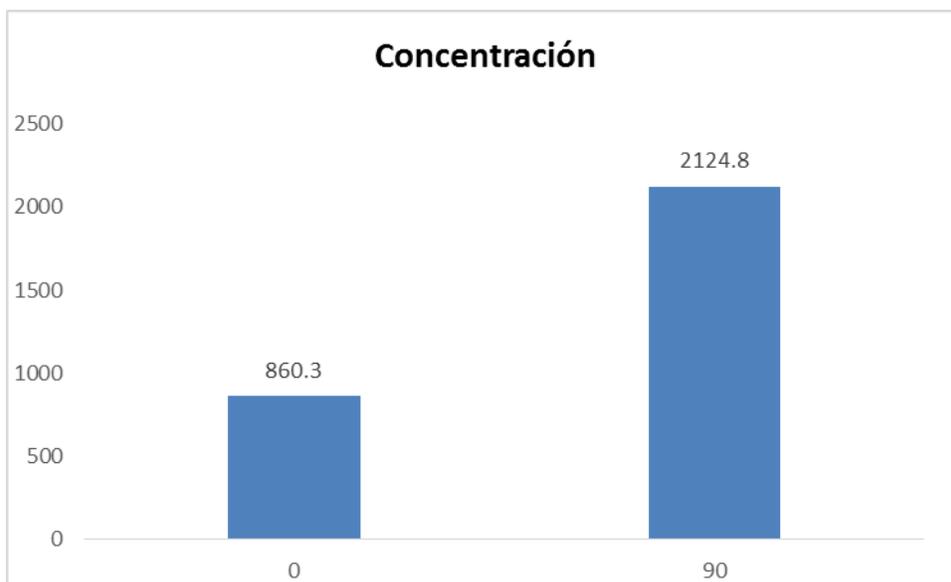


Figura 22. Factor concentración de la hoja.

Los resultados indican que la mayor concentración encontrada en las hojas fue en Plomo a la concentración de 90 ( $\text{mg L}^{-1}$ ). En el tratamiento 6 las mayores concentraciones de metales pesados se presentaron en cobre a 90( $\text{mg L}^{-1}$ ), esto se debe a que el cobre es un elemento esencial para las plantas, es requerido para su

crecimiento y participa en reacciones de oxidación-reducción. (Hernández *et al.*, 2012; León & Sepúlveda, 2012).

Las menores concentraciones se presentaron en cadmio a 0 mg L<sup>-1</sup>;

Un estudio donde se expuso a *Ambrosia ambrosioides* a soluciones de plomo de 0.25, 0.5 y 1.5 (mg L<sup>-1</sup>); se encontró que la mayor absorción del metal se dio en la raíz 4,638 (mg Kg<sup>-1</sup>) seguida por el tallo 520 (mg Kg<sup>-1</sup>) y la hoja 484.38 (mg Kg<sup>-1</sup>). Se concluyó que a mayor concentración del metal será mayor la absorción en la planta (Contreras *et al.*, 2016).

Los resultados no concuerdan con la literatura de (Contreras *et al.*, 2016) ya que la absorción de plomo fue mayor en las hojas que en la raíz.

## V. CONCLUSIONES

El cobre es el metal pesado que más absorbió la *Ambrosia ambrosioides* en raíz con un valor de 797.50 mg kg<sup>-1</sup> en la concentración de 0 ppm y 2530 mg kg<sup>-1</sup> en la concentración de 90 ppm; seguido por el cadmio con valores de 1682.90 mg kg<sup>-1</sup> en la concentración de 90 ppm y 136.10 mg kg<sup>-1</sup> en la concentración de 0 ppm y finalmente el plomo que consiguió las cantidades de 452.8 mg kg<sup>-1</sup> en la concentración de 0 ppm y 448.3 mg kg<sup>-1</sup> en la concentración de 90 ppm.

El plomo fue el único metal pesado que aumento su acumulación en la planta en relación a la concentración con la que fue aplicado en la parte morfológica de la hoja con una acumulación de 184.00 mg kg<sup>-1</sup> en la concentración de 0 ppm y 3968 mg kg<sup>-1</sup> en la concentración de 90 ppm.

La hoja fue la estructura de la planta que absorbió la mayor cantidad de metales pesados seguido por raíz y tallo.

Después de analizar los resultados obtenidos en este trabajo de experimentación, se demuestra que:

1.- La Chicura (*Ambrosia ambrosioides*) es capaz de absorber metales pesados en sus estructuras, la mayor concentración se encuentra en la hoja, con una acumulación de 2076 mg kg<sup>-1</sup> de plomo y 1899 mg kg<sup>-1</sup> de cobre.

2.-En la hoja de la planta las mayores concentraciones fueron en 90 ppm con un valor de 2124.80 mg kg<sup>-1</sup> mientras que en el tallo las menores con un valor de 73.55 mg kg<sup>-1</sup> en la concentración de 90 ppm.

3.-La hipótesis que considera que la mayor concentración de Cobre se localiza en las hojas, se rechaza ya que la mayor acumulación se registró con el plomo en la concentración de 90 ppm con un valor de 3968 mg kg<sup>-1</sup>.

## VI. LITERATURA CITADA

**Abollino, O.**, Aceto, M., Malandrino, M., Mentaste, E., Sarzanini, C. y Barberis, R. 2002. Distribution and Mobility of Metals in Contaminated Sites. Chemometric Investigation of Pollutant Profiles. *Environmental Pollution*, 119, p. 177.

**Agency For Toxic Substances And Disease Control.** División de Toxicología y Medicina Ambiental. Departamento de Salud y Servicios humanos de los EEUU. Washington (USA): Servicio de Salud Pública, 2011, 269 p.

**Aitcheson, L.** 1960. *A History of Metals*. London: Mac Donalds and Evans.

**Alloway, B.J.**, 2013. *Heavy Metals in Soils*. Blackie Academic & Professional. Londres. 370 pp.

**Banat, K. M.**, Howari, F. y Al-Hamad, A. A. 2005. Heavy Metals in Urban Soils of Central Jordan: Should we Worry about Their Environmental Risks. *Environmental Research*, 97, pp. 258-273.

**Burt, R.**, Wilson, M.A., Keck, T.J., Dougherty, B.D., Strom, D.E., Lindahl, J.A., 2013. Trace Element Speciation in Selected Smelter-Contaminated Soils in Anaconda and Deer Lodge Valley, Montana, USA. *Advances in Environmental Research*, 8, pp. 51-67.

**Carpaena, R.**, & Bernal, M. (2007). Claves de la fitorremediación: Fitotecnologías para la recuperación de suelos. *Revista científica y técnica de ecología y medio ambiente*, 1-3.

**CONABIO.** (2009). *Catálogo Taxonómico de especies de México*.

**Contreras Pinto, L. A.**, Valencia Castro, C. M., De la Fuente Salcido, N., Linaje

**Dhir, B.** and Kumar, R. "Adsorption of Heavy Metals by Salvinia Biomass and Agricultural Residues". *Journal of Environmental*, 4(3), 2012, 427 p.

**Eurachem, Guide.** The Fitness for Purpose of Analytical Methods A Laboratory Guide to Method Validation and Related Topics. 2 ed. Ohio (USA): 2014, p. 52.73.

**Freitas, H.,** Prasad, M. N. V., y Pratas, J. 2004. Heavy Metals in the Plant Community of Sao Domingo an Abandoned Mine in SE Portugal: Possible Applications in Mine Remediation. *Environmental International*, 30 (1), 65-72.

**Frick, C. M.,** R. E. Farrell y J. J. Germida. 1999. Assessment of Phytoremediation as an in situ Technique for Cleaning Oil-Contaminated Sites. Petroleum Technology Alliance of Canada. Vancouver, British Columbia.

**García, I., Dorronsoró, C.** 2005. Contaminación por Metales Pesados. En *Tecnología de Suelos*. Universidad de Granada. Departamento de Edafología y Química Agrícola. <http://edafologia.ugr.es/conta/tema15/introd.htm>.

**García, J.,** Méndez, J., Pásaro, E. And Laffon, B. Genotoxic effects of lead: An updated review. *Environment International*, 2(4), 2012, p. 623–636.

**Granadillo, V.** 1993. Concentraciones de Plomo en Sangre de la Población de la Ciudad de Maracaibo. Universidad de Zulia, Maracaibo, Venezuela, p.1- 110.

**Hardman, J.G.,** Limbrid, L.E., P.B., Molinoff, R.W., Ruddon, Goodman, A. and Gilman A, G. *The Pharmacological Basis of Therapeutics*. 9 ed. Nueva York (USA): Mc Graw-Hill, 2011, 532 p.

**Harvey, P. J,** Campanella B. F, Castro P. M. L, Harms H, Lichtfouse E, Schäffner A. R, Smrcek, S. and Werck-Reichhart D. 2002. Phytoremediation of Polyaromatic

Hydrocarbons, Anilines and Phenols. Environmental Science and Pollution Research 9, 29-47.

**Han, F.X.**, Banin, A., Kingery, W.L., Triplett, G.B., Zhou, L.X., Zheng, S. J., Ding, W.X., 2003. New Approach to Studies of Heavy Metal Redistribution in Soil. Advances in Environmental Research, 8, pp. 113-120.

**Hernández, A.** Determinación de metales pesados en suelos de Natividad Ixtlán de Juárez Oaxaca [Tesis de Licenciatura]. Oaxaca (México): Universidad de la Sierra, Facultad de Ingeniería, 2011, 87 p.

**International Lead Association (ILA).** Agency International Lead ([online]. 2013. Disponible: <http://www.ila-lead.org/>. [Citado 26 de Julio de 2014].

**International Programme On Chemical Safety.** Environmental health criteria: Copper. Geneva (Suiza): World Health Organization, 1998, 104 p.

**Järup, L.**, Hellstrom, L., Alfven, T., Carlsson, M.D., Grubb, A., Persson, B., Pettersson, C., Spang, G., Schütz, A. And Elinder, C.G. Low level exposure to cadmium and early kidney damage: the Oscar study. Occupational and Environmental Medicine, 3(6), 2012, p. 668- 672.

**Kidd, P. S.**, & Monterroso, C. (2003). Biodisponibilidad de metales en suelos de mina: cambios inducidos por el crecimiento de *alyssum serpyllifolium* ssp. *Lusitanicum*. EDAFOLOGIA , X(1), 33-52.

**Lanphear, B.P.**, Dietrich, K.N. and Auinger, P.C. Cognitive deficits associated with blood lead concentration <10 µg/dL in: U.S. children and adolescents. Pub Health, 4(1), 2012, p. 521-529.

**Merkli, N. R.**, Schultze-Kraft y C. Infante. 2004. Phytoremediation of Petroleum Contaminated Soils in the Tropics - Pre-Selection of Plant Species from Eastern Venezuela. *Journal of Applied Botany and Food Quality* 78 (3):185-192.

**McCrill, C.**, Boyer, L.V., Flood, T.J. And Ortega, L. Mercury toxicity due to the use of a cosmetic cream. *Journal of Occupational and Environmental Medicine*, 3(3), 2013, p. 4-7.

**Navarro Aviño, J.**, Aguilar Alonso, I., & López Moya, J. (Mayo de 2007). Aspectos bioquímicos y genéticos de la tolerancia y acumulación de metales pesados en plantas. *Ecosistemas*, XVI(2), 10-25.

**Nava Ruíz, C.**, & Méndez Armenta, M. (Julio-Septiembre de 2011). Efectos neurotóxicos de metales pesados (cadmio, plomo, arsénico y talio). *Archivos de Neurociencias*, XVI(3).

**Ospina-Álvarez, N.**, Peña-Salamanca, E. J., Benítez, R. 2006. Efecto de la salinidad en la capacidad de bioacumulación de plomo en el alga verde *Rhizoclonium riparium* (Roth) Harvey (Chlorophyceae, Cladophorales). *Actual biol*, 28(84):17-25.

**Pagnanelli, F.**, Moscardini, E., Giuliano, V., Toro, L. 2004. Sequential Extraction of Heavy Metals in River Sediments of an Abandoned Pyrite Mining Area: Pollution Detection and Affinity Series. *Environmental Pollution*, 132, pp. 189- 201.

**Peris, M.M.** Estudio de metales pesados en suelos bajo cultivos hortícolas de la provincia de Castellon (España) [PhD. Tesis, Ingeniera Química]. Valencia (España): Universidad de Valencia, Facultad de Ingeniería, 2006, 247 p.

**Peña-Salamanca, E.**, M. L. Palacios, N. Ospina-Álvarez. 2005. Algas como indicadores de contaminación. Universidad del Valle, Cali. pp. 75–146.

**Peña-Salamanca E. J.**, C. A. Madera-Parra, J.M. Sánchez, J. Medina-Vásquez:(2013) Bioprospección de plantas nativas para su uso en procesos de biorremediación: caso *Heliconia psittacorum* (heliconiaceae). Rev. Acad. Colomb. Cienc. 37 (145): 469-481, 2013. ISSN 0370-3908.

**Pilon Smits**, E. 2005. Phytoremediation. Annual review of plant biology, 56:15-39.

**Pineda, H. R.** 2004. Presencia de Hongos Micorrízicos Arbusculares y Contribución de *Glomus* Intraradices en la Absorción y Translocación de Cinc y Cobre en Girasol (*Helianthus Annuus* L.) Crecido en un Suelo Contaminado con Residuos de Mina. Tesis para Obtener el Grado de Doctor en Ciencias Universidad de Colima. Tecoman, Colima.

**Rahimi, E.** Lead and cadmium concentrations in goat, cow, sheep, and buffalo milks from different regions of Iran. Food Chemistry, 2013, p. 389–391.

**Ramakritinan, C.M.**, Chandurvelan, R. And Kumaraguru, A.D. Acute toxicity of metals: Cu, Pb, Cd, Hg and Zn on marine mollusks. *Cerithedia cingulata* G, and *Modiolus philippinarum* H. Indian Journal of Geo-Marine Sciences, 2(1), 2012, p. 141-145.

**Repetto, M.** Y Sanz, P. Toxicología de los metales. En: M. REPETTO. Postgrado en Toxicología. 1 ed. Sevilla (España): Ilustre Colegio oficial de Químicos, 2012,192 p.

**Rey-Crespo, F.**, Miranda, M. and Lópezalonso, M. Essential trace and toxic element concentrations in organic and conventional milk in NW (Spain). Food and Chemical Toxicology, 2(3), 2013, p. 513–518.

**Rogers, J.M.**, Stewart, M., Petrie, J.G. And Haynes, B.S. Department and management of metals produced during combustion of CCA treated timbers. Hazard Material, 2(4), 2012, p. 500-505.

**Sauquillo, A.**, Rigol, A. y Rauret, G. 2003. Overview of the use of Leaching/Extraction Tests for Risk Assessment of Trace Metals in Contaminated Soils and Sediments. Trends in Analytical Chemistry, 22, pp. 152-159.

**Sauve, S.**, W. Henderson, and H. E. Allen. 2000. Solid-Solution Partitioning of Metals in Contaminated Soils: Dependence on pH, Total Metal Burden, and Organic Matter. Environ. Sci. Technol. 34:1125–1131.

**Spain, A.** 2003. Implications Of Microbial Heavy Metals Tolerance in the Environment. Reviews In Undergraduate Research, 2,1-6.

**Tanner, C. C.**, Clayton, J. S., Upsdell, M. P. 1995. Effect of loading rate and planting on treatment of dairy farm wastewaters in constructed wetlands II. Removal of nitrogen and phosphorus. Water research, 29:27-34.

**Tavakoly, B.**, Sulaiman, A.H., Monazami, G.H. And Salleh, A. Assessment of Sediment Quality According to heavy metal status in the West Port of Malaysia. Engineering and Technology, 3(2), 2011, p. 633-637.

**Treviño, M. S.**, & Trejo Calzada, R. (2016). Estudio de absorción, acumulación y potencial para la remediación del suelo contaminado por plomo usando *Ambrosia ambrosioides*. Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos, 1(1), 244-250.

**Vanek, T.**, & Schwitzguebel, J. (2003). Plant biotechnology for the removal of organic pollutants and toxic metals from wastewaters and contaminated soils. Praga.

**Volke, S. T.**, Velasco, T. J. A y De La Rosa, A. 2005. Suelos Contaminados por Metales y Metaloides: muestreo y alternativas para su remediación. S y G Editores, S.A. de C.V., México, D. F. ISBN: 968-817-492-0.

**Wasson, S.J.**, Linak, W.P., Gullett, B.K., King, C.J., Touati, A., Huggins, F.E., Chen, Y., Shah, N. And Huffman, G.P. Emission of chromium, copper, arsenic and PCDD's/Fs from open burning of CCA-treated wood. *Environmental Science Technology*, 3(5), 2005, p. 8865-8876.

**Wei, S.**, Zhou, Q., Srivastava, M., Xiao, H., Yang, C., Zhang, Q. 2009. *Kalimeris integrifolia* Turcz, ex DC.: An accumulator of Cd. *Journal of hazardous materials*, 162:1571:1573.

**World Health Organization (WHO)**. Cadmium. Environmental health criteria. Geneva (Italy): 2008, p.119-137.

**World Health Organization (WHO)**. Inorganic Lead. Environmental Health Criteria. Geneva (Suiza): 2005, 165 p.

**Zamora, F.**, Rodríguez, N., Torres, R.D. y Yendis, H. Efecto del riego con aguas residuales sobre propiedades químicas de suelos de la planicie de Coro. Estado Falcón (Venezuela): Bioagro, 2008, p. 193-199.

**Zhang, Q**, Davis, L. C., y Erick, L. E. 2000. Heavy Metal. In: *Hazardous Substance Res.* 2 (4):1

**Zhi-xin, N**, Li-na, S., Tie-heng, S., Yu-shuang, L., Hong, W. 2007. Evaluation of phytoextracting cadmium and lead by sunflower, ricinus, alfalfa and mustard in hydroponic culture. *Journal of environmental sciences*, 19:961-967.

**Zuñiga, F.** (1999). Introducción al estudio de la contaminación del suelo por metales pesados. Merida: UADY.